

РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ І У ЛИВАРНИХ ЦЕХАХ

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 31, 2023, № 3 (334), 79-85

<https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.079>

УДК 669.15'28-198

А.С. Петрищев¹, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри, e-mail: kafedrales@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2631-1723>

С.В. Семірягін², канд. техн. наук, доц., заст. ген. директора, e-mail: td.destal@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8733-3216>

Ю.О. Смірнов³, канд. екон. наук, доц., ст. наук. співр., e-mail: smirnoff.yuriy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0479-5828>

¹Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

²ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» (Запоріжжя, Україна)

³Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Підвищення рівня безпеки та гігієни праці при екологічно спрямованій переробці відходів шкіряної промисловості та особливості їх мікроструктури

Статтю присвячено дослідженням особливостей мікроструктури огарку від відходів виробництва шкіряної промисловості. Це необхідно для використання отриманого матеріалу як хромвмісної сировини для виробництва легуючих добавок шляхом алюмотермічної плавки. Для досягнення цієї мети був застосований комплекс новітніх методів досліджень з використанням растрової електронної мікроскопії з рентгенівським мікроаналізом для визначення хімічного складу цільових ділянок поверхні зразків. Визначено, що мікроструктура огарку розупорядкована пориста та складалася з відокремлених частинок різної форми і розмірів. Оксидна природа переважної кількості компонентів підтверджується виявленням кисню в ділянках аналізу в межах 14,04–25,12 %мас. В досліджених ділянках вміст хрому знаходився на відносно високому рівні — від 59,49 %мас. до 74,64 %мас. Із тугоплавких елементів також був присутній ванадій у кількості 0,18–0,29 %мас. Вміст заліза коливався в межах 0,41–0,62 %мас. Разом з цим в огарку було виявлено деякий вміст супутніх домішок Ca, Mg, Al, Na, Si, Cl, Mn, K, а також S та P — в кількості 0,55–1,52 %мас. та 0,12–0,21 %мас. відповідно. Це дозволило зробити ряд важливих практичних висновків, що отриманий продукт для подальшого ефективного використання в якості легуючої хромвмісної добавки потребує застосування алюмотермічної рафінувальної плавки. При цьому огарок від відходів шкіряного виробництва можна додавати замість частини хромвмісного рудного концентрату при виплавці ферохрому. Одночасно з переробкою і поверненням у виробництво техногенних відходів від шкіряного виробництва забезпечується підвищення рівня безпеки та гігієни праці, зниження екологічної напруженості промислово розвинених областей, зменшення забруднення навколишнього середовища і підвищення безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: відходи шкіряної промисловості, теплова обробка, мікроструктура, легуюча добавка, екологія, безпека.

Вступ. Сучасні тенденції в металургії спрямовані на підвищення виробництва сталі, яка легована рідкісними та тугоплавкими елементами. Одним з таких елементів є Cr. Поступове збіднення сировинних родовищ обумовлює тенденцію зростання цін світового ринку на тугоплавкі легуючі матеріали [1]. Одним з альтернативних джерел отримання легуючих матеріалів є переробка і повернення у виробництво легованих техногенних відходів [2], великі обсяги яких на практиці не знаходять достатньо ефективного застосування. Специфічна особливість відходів полягає в присутності легуючих

елементів у вигляді оксидних і комплексних сполук. Це обумовлює необхідність врахування складного характеру фізико-хімічної взаємодії елементів при розробці технологічних умов переробки. Істотну частину складають забруднені шкідливими домішками дрібнодисперсні відходи (як, наприклад, відходи від шкіряної промисловості [3]), ефективна переробка яких ускладнена, що негативно позначається на технологічності виробництва і собівартості продукції.

При цьому зберігання оксидних та дрібнодисперсних техногенних відходів супроводжується небезпекою потрапляння важких металів у ґрунти,

водойми та атмосферу. Це негативно впливає на екологічний стан навколишнього середовища, а також на безпеку та гігієну праці в промислових зонах. Отже, актуальною є проблема пошуку раціональних шляхів та підвищення ефективності переробки забруднених шкідливими домішками хромвмісних відходів від шкіряної промисловості. Для цього необхідні дослідження особливостей фізико-хімічних перетворень при тепловій обробці такого роду відходів. Переробка і повернення у виробництво промислових техногенних відходів металургійного виробництва забезпечує не тільки розвиток ресурсозбереження, а й зменшення забруднення навколишнього середовища разом із підвищенням рівня безпеки та гігієни праці в промислових зонах.

Постановка задачі. Сучасний стан промислового виробництва характеризується утворенням значної кількості відходів, які накопичуються у відвалах, займаючи площі можливих оброблювальних земель та забруднюючи прилеглі території [4]. Виробництво та обробка шкіри призводить до утворення твердих відходів і стічних вод, що містять токсичні та небезпечні хімічні речовини, що обумовлює шкідливий вплив на живі істоти та навколишнє середовище. Відходи включають використану шкіру тварин і стоки, що містять хімічні речовини, такі як хлориди, сульфати, вуглеводні, аміни, альдегіди тощо, а також важкі метали, включаючи миш'як і хром, які використовуються в процесі дублення шкіри [5]. Присутність у відходах важких металів є особливо небезпечною для навколишнього середовища, оскільки вони забруднюють ґрунти [6] та підземні води [7]. Також слід відзначити схильність важких металів до накопичення в навколишньому середовищі, але не розкладання, на відміну від багатьох інших забруднювачів. Багато сполук важких металів не розкладаються мікроорганізмами та хімікатами. Тому їх загальна концентрація в середовищі залишається стабільною протягом тривалого часу. Загальний вміст важких металів у навколишньому середовищі не повною мірою відображає його небезпеку. Більш важливі доступні (мобільні) складники, тобто частина загальної кількості важких металів, які можуть мігрувати в середовища або поглинатися живими організмами [8].

Хром, який використовується для дублення шкіри, є джерелом значного забруднення, особливо окислення хрому Cr^{3+} до форми Cr^{6+} , що становить небезпеку для людини через його мутагенний і канцерогенний потенціал [9]. Хром за ступенем небезпеки впливу на живі організми належить до 2-го класу небезпеки (помірно небезпечний) [10]. Гранично допустима концентрація в ґрунті хрому в такій країні Євросоюзу, як Болгарія, в житлових районах складає 200 мг/кг, а на промислових територіях — 300 мг/кг відповідно [11]. В Німеччині дещо інша ситуація. В житлових зонах там гранично допустима концентрація Cr складає 400 мг/кг, а на промислових об'єктах — 1000 мг/кг відповідно [10].

Зростаюче забруднення наземного та водного середовища стійкими важкими металами є однією з найсерйозніших проблем останніх десятиліть, що

виникає через їх високу токсичність, швидке накопичення, здатність до біологічного розкладання та стійкість. Шкідливі для здоров'я іони важких металів, таких як хром ($\text{Cr}^{3+/6+}$) можуть реагувати з біочастинками в організмі людини та інших формах життя, що може викликати численні захворювання та розлади навіть при низьких рівнях концентрації [12]. Шестивалентний Cr може викликати токсичний ефект і є небезпечним для людей і тварин. Він набагато розчинніший і рухливіший, ніж Cr тривалентний [13].

Потрапляючи в організм людини, Cr викликає отруєння. Токсичність Cr залежить від його валентності. Cr тривалентний має відносно невисоку отруйну дію [14]. При цьому Cr шестивалентний чинить гостру токсичну дію і є канцерогеном та мутагеном [15]. Про отруйну канцерогенну дію Cr було також зазначено авторами в роботі [16]. При цьому там відмічалось спричинення дії Cr на організм людини з виникненням також захворювань серцево-судинної та нервової систем. З вищезазначеного випливає, що переробка хромвмісних відходів шкіряного виробництва дозволяє попередити забруднення земельних та водних ресурсів важкими отруйними елементами. При цьому попереджається виникнення у людей, які б контактували з забрудненим середовищем, захворювань серцево-судинної, нервової систем та раку.

Ситуація, що склалася, свідчить про існування певних складнощів раціонального поводження із хромвмісними техногенними відходами, в тому числі від шкіряного виробництва. Проблеми шкідливої дії при контактні з відходами працівників та мешканців промислових регіонів посилюються при вмісті в них важких металів, які можуть спричинити токсичний і канцерогенний вплив. В їх число входить хром, який використовується в якості дубильного складника в шкіряній промисловості і перебуває в складі відходів в комплексі з іншими компонентами. Виходячи з вищезазначеного, доцільно комплексне дослідження особливостей мікроструктури відходів шкіряної промисловості після попередньої теплової обробки для видалення з газовою фазою частини шкідливих домішок. Використання растрової електронної мікроскопії і рентгенівського мікроаналізу дозволить виявити хімічний склад певних ділянок матеріалу з виявленням вмісту цільового елемента та залишкової частки шкідливих домішок для визначення можливостей подальшої переробки.

Мета роботи. Мета роботи полягала у виявленні особливостей мікроструктури та хімічного складу досліджених ділянок огарку від відпалу хромвмісних відходів шкіряного виробництва щодо визначення можливостей для переробки та повернення у виробництво в якості легуючої добавки. Переробка такого роду відходів та зменшення площ осередків їх зберігання забезпечить зниження ризику виникнення небезпек екологічного характеру для населення промислових територій та поліпшення рівня безпеки та гігієни праці робітників підприємств шкіряного виробництва.

Об'єкт і методика досліджень. Вихідний сировинний матеріал — хромвмісні відходи від шкіряного

виробництва. Зразки піддавали ізотермічній витримці при температурі 650 °С впродовж 1 години у печі непрямого нагріву із окисною атмосферою. Після теплової обробки охолодження зразків здійснювалося разом із піччю. Дослідження мікроструктури отриманого огарку здійснювали за допомогою растрового електронного мікроскопу “JSM-IT300” виробництва компанії JEOL (Японія). Мікроскоп був оснащений приставкою для рентгенівського мікроаналізу “X-MAX80” виробництва компанії Oxford Instruments (Великобританія), завдяки чому виявляли вміст елементів в окремих ділянках.

Результати досліджень. Використання растрової електронної мікроскопії в комплексі з рентгенівським мікроаналізом показало, що мікроструктура огарку розупорядкована пориста та складається з відокремлених частинок різної форми і розмірів (рис. 1).

Оксидна природа переважної кількості компонентів обумовлюється виявленням кисню в ділянках аналізу в межах 14,04–25,12 %мас. (табл., рис. 2). Використання рентгенівського мікроаналізу дозволило встановити, що в досліджених ділянках вміст хрому знаходився на відносно високому рівні — від 59,49 %мас. до 74,64 %мас. Із тугоплавких елементів також був присутній ванадій у кількості 0,18–0,29 %мас. Вміст заліза коливався в межах 0,41–0,62 %мас.

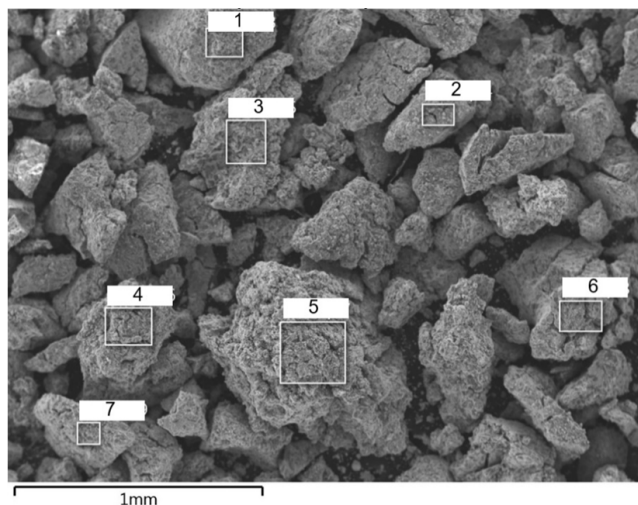


Рис. 1. Зображення мікроструктури огарку від відходів шкіряного виробництва: 1-7 — ділянки рентгенівського мікроаналізу зразка

Разом з цим в огарку було виявлено деякий вміст супутніх домішок Ca, Mg, Al, Na, Si, Cl, Mn, K (таблиця, рис. 2). Присутність шкідливих домішок S та P в різних ділянках виявлена в кількості 0,55–1,52 %мас. та 0,12–0,21 %мас. відповідно.

Обговорення результатів. З отриманих результатів дослідження випливає, що після теплової обробки відходів від шкіряного виробництва в окисній атмосфері більша частина компонентів переходить в окисну форму. При цьому підвищена температура та окисне середовище забезпечує видалення із газовою

Результати рентгенівського мікроаналізу огарку від відходів шкіряного виробництва відповідно до рис. 1

Вміст елементів, %мас.	Ділянки аналізу						
	1	2	3	4	5	6	7
O	14,04	21,26	22,13	21,76	25,12	21,20	19,41
Na	3,21	4,60	4,79	5,59	5,56	7,24	4,68
Mg	0,72	1,07	0,87	0,94	1,18	0,80	0,72
Al	0,22	0,34	0,29	0,20	0,43	0,24	0,23
Si	0,10	0,15	0,14	0,20	0,22	0,08	0,18
P	0,12	0,14	0,21	0,12	0,18	0,14	0,14
S	0,76	0,55	1,27	1,38	1,50	1,52	1,50
Cl	1,25	3,40	1,81	2,98	2,47	4,26	2,43
K	0,10	0,18	0,07	0,20	0,00	0,00	0,00
Ca	2,91	2,71	3,56	3,57	2,95	3,92	4,50
V	0,25	0,24	0,18	0,22	0,28	0,29	0,23
Cr	74,64	64,31	63,51	62,05	59,49	59,59	65,31
Mn	1,10	0,43	0,76	0,32	0,18	0,24	0,24
Fe	0,58	0,62	0,41	0,47	0,44	0,48	0,43
Всього	100	100	100	100	100	100	100

фазою частини шкідливих домішок S та P. Реалізація такого процесу, напевно, відбувається як за рахунок переходу елементів в газоподібні оксиди, так і завдяки підвищенню пружності парів S та P. Окисна природа отриманого продукту для подальшого його ефективного використання в якості легуючої хромвмісної добавки потребує відновлення з метою покращення ступеня вилучення цільового елементу. Залишковий вміст S та P хоч і знаходиться на відносно невисокому рівні, але все ж таки вказує на доцільність додаткового рафінування з метою підвищення витратних коефіцієнтів застосування легуючого матеріалу. З врахуванням вищезазначеного, для покращення якісних та технологічних характеристик отриманої сировини можна застосувати алюмотермічну рафінувальну плавку. При цьому огарок від відходів шкіряного виробництва можна додавати замість частини хромвмісного рудного концентрату при виплавці ферохрому. Також обмеження використання отриманого огарку можуть бути викликані залишковим вмістом певної композиції із супутніх домішок Ca, Mg, Al, Na, Si, Cl, Mn, K. Необхідні подальші дослідження, яка саме природа присутності таких домішок та потрібно контролювати як їх концентрація, а також вміст S та P, зміняться після рафінувальної плавки. Труднощі в розвитку дослідження полягали у відсутності достатнього рівня накопиченої експериментальної бази.

Разом з переробкою і поверненням у виробництво відходів від шкіряного виробництва із відносно високим промислово перспективним вмістом хрому забезпечується зниження екологічного напруження та поліпшення рівня безпеки та гігієни праці у промислових зонах. Утворення та зберігання відходів шкіряного виробництва супроводжується низкою небезпек як для працівників промислових підприємств з переробки шкіри, так і для мешканців прилеглих територій. При

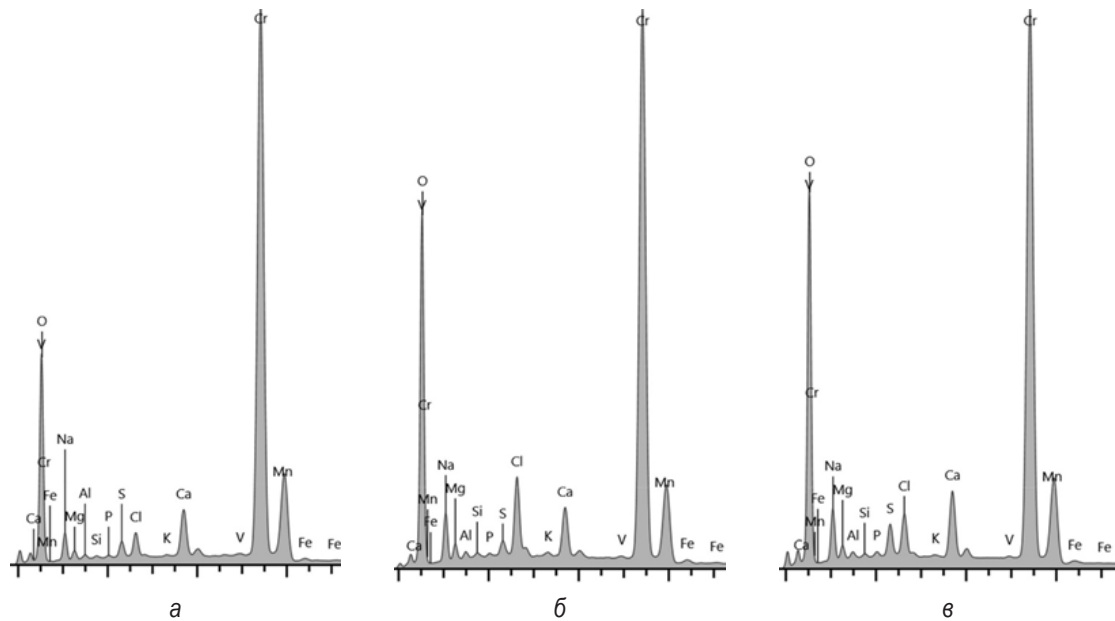


Рис. 2.

Спектрограми досліджених ділянок відповідно до рис. 1: а — 1; б — 2; в — 3

зберіганні на відкритому повітрі у звалищах дрібно-дисперсна природа утворених відходів сприяє розповсюдженню вітром. При цьому можливе потрапляння піднятих вітром мікрочасток в органи дихання та на інші слизові оболонки працівників. Це може спричинити погіршення стану здоров'я з розвитком захворювань дихальних шляхів. Хром має канцерогенну дію на організм людини. Тому, окрім подразнювальної дії слизових оболонок частками пилу, можлива і токсична дія присутніми в складі елементами.

Окрім цього, зберігання утворених відходів може супроводжуватися забрудненням прилеглих ґрунтів та ґрунтових вод. Разом із ґрунтовими водами шкідливі токсичні елементи з відходів можуть потрапити у джерела питної води, що може спричинити захворювання у населення прилеглих територій.

Одним із варіантів зниження шкідливої дії утворених оксидних відходів є удосконалення оснащення місць зберігання із усуненням контакту із ґрунтами та опадами. Це можуть бути криті площадки або склади. Також можливе використання діжок або інших ємностей.

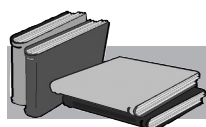
Зазначені вище заходи є тимчасовими і додатково потребують витрат зберігання та обслуговування. В цьому ключі переробка утворених відходів від виробництва шкіри з отриманням легуючих добавок для сталеплавильного виробництва є принципово якісним рішенням існуючої проблеми.

Тому удосконалення технологічних параметрів переробки техногенних відходів від підприємств переробки шкіри забезпечує не тільки розвиток ресурсозбереження, а й покращення санітарних умов праці та підвищення рівня екологічної безпеки мешканців прилеглих територій.

Висновки і перспективи досліджень. Виконано дослідження мікроструктури огарку від відходів шкіряної промисловості з використанням новітніх методів растрової електронної мікроскопії в комплексі з рентгенівським мікроаналізом. Встановлено, що

мікроструктура розупорядкована пориста та складається з відокремлених частинок різної форми і розмірів. Підтвердження оксидної природи отриманої сировини обумовлене вмістом кисню в межах 14,04–25,12 %мас. Відносно високий вміст хрому (59,49–74,64 %мас.) свідчить про перспективність оптимізації подальшої переробки та застосування в якості легуючої добавки. Наявність залишкових шкідливих домішок S та P в кількості 0,55–1,52 %мас. та 0,12–0,21 %мас. відповідно вказує на доцільність подальшої переробки з використанням рафінувальної плавки. Перспективним є заміна частини рудного хроммісного концентрату на отриманий огарок при виробництві ферохрому за допомогою алюмотермії.

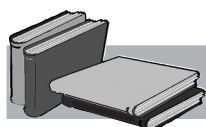
Разом з переробкою і поверненням у виробництво відходів від шкіряної промисловості із вмістом хрому забезпечується підвищення екологічної безпеки та поліпшення рівня безпеки та гігієни праці працівників у промислових зонах. Перспективи досліджень в даному напрямі можливі в бік розвитку застосування растрової електронної мікроскопії з новими параметрами збільшення та охоплення різних ділянок для рентгенівського мікроаналізу.



ЛІТЕРАТУРА

1. Henckens M.L.C.M., Van Ierland E.C., Driessen P.P.J., Worrell E. Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*. 2016. Vol. 49. P. 102—111. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
2. Smirnov A.N., Petrishchev A.S., Semiryagin S.V. Reduction Smelting of Corrosion-Resistant Steel Waste: Aspects of Structural and Phase Transformations. *Steel in Translation*. 2021. Vol. 51 (7). P. 484—489. <https://doi.org/10.3103/S0967091221070093>
3. Muralidharan V., Palanivel S., Balaraman M. Turning problem into possibility: A comprehensive review on leather solid waste intravalorization attempts for leather processing. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 367. Iss. 133021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133021>
4. Puchol R.Q., Sosa E.R., González L.O., Castañeda Y.P., Sierra L.Y. New conception of the reutilization of solid waste from Cuban nickeliferous hydrometallurgical industry. *Centro Azúcar Journal*. 2016. Vol. 43. № 4. P. 1—15.
5. Sivaram N. M., Debabrata B. Chapter 5 — Toxic Waste From Leather Industries. Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation. *Woodhead Publishing Series in Energy*. 2019. P. 55—67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00005-5>
6. Pincovski I., Neacsu N., Modroga C. The Adsorption of Lead, Copper, Chrome and Nickel Ions from Waste Waters in Agricultural Argillaceous Soils. *Revista de Chimie*. 2017. Vol. 68. Iss. 4. P. 635—638. <https://doi.org/10.37358/RC.17.4.5520>
7. Madebwe V., Madebwe C., Munodawafa A., Mugabe F. Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Toxic Heavy Metal Concentrations in Ground Water Resources in Upper Sanyati Catchment, Midlands Province, Zimbabwe. *IARD International Journal of Geography and Environmental Management*. 2017. Vol. 3. № 1. P. 23—37.
8. Ishchenko V. Environment contamination with heavy metals contained in waste. *Environmental Problems*. 2018. Vol. 3. № 1. P. 21—24.
9. Wrzesińska-Jędrusiak E., Czarnecki M., Kazimierski P., Bandrów P., Szufa S. The Circular Economy in the Management of Waste from Leather Processing. *Energies*. 2023. Vol. 16 (1). Iss. 564. <https://doi.org/10.3390/en16010564>
10. Рубежняк І.Г. Порівняльна оцінка нормативів забруднення ґрунтів важкими металами в Україні та країнах ЄС. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2016. Том 234. С. 228—238.
11. Eastmond D.A., MacGregor J.T., Slesinski R.S. Trivalent Chromium: Assessing the Genotoxic Risk of an Essential Trace Element and Widely Used Human and Animal Nutritional Supplement. *Critical Reviews in Toxicology*. 2008. Vol. 38. Iss. 3. P. 173—190. <https://doi.org/10.1080/10408440701845401>
12. Schlögl S., Diendorfer P., Baldermann A., Vollprecht D. Use of industrial residues for heavy metals immobilization in contaminated site remediation: a brief review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2023. Vol. 20. P. 2313—2326. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04184-x>
13. Yu J., Jiang Ch., Guan Q., Ning P., Gu J., Chen Q., Zhang J., Miao R. Enhanced removal of Cr(VI) from aqueous solution by supported ZnO nanoparticles on biochar derived from waste water hyacinth. *Chemosphere*. 2023. Vol. 195. P. 632—640. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.128>
14. Itankar N., Patil Y. Management of Hexavalent Chromium from Industrial Waste Using Low-cost Waste Biomass. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 133. № 5. P. 219—224. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.187>
15. Chervona Y., Arita A., Costa M. Carcinogenic metals and the epigenome: understanding the effect of nickel, arsenic, and chromium. *Metallomics*. 2012. Vol. 4. № 7. P. 619—627. <https://doi.org/10.1039/c2mt20033c>
16. Atanassov I. New Bulgarian soil pollution standards. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2008. Vol. 14. P. 68—75. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_9

Надійшла 19.04.2023



REFERENCES

1. Henckens, M.L.C.M., Van Ierland, E.C., Driessen, P.P.J., Worrell, E. (2016). Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*, 49, 102—111. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
2. Smirnov, A.N., Petrishchev, A.S., Semiryagin, S.V. (2021). Reduction Smelting of Corrosion-Resistant Steel Waste: Aspects of Structural and Phase Transformations. *Steel in Translation*, 51(7), 484—489. <https://doi.org/10.3103/S0967091221070093>
3. Muralidharan, V., Palanivel, S., Balaraman, M. (2022). Turning problem into possibility: A comprehensive review on leather solid waste intra-valorization attempts for leather processing. *Journal of Cleaner Production*, 367, 133021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133021>

4. Puchol, R.Q., Sosa, E.R., González, L.O., Castañeda, Y.P., Sierra, L.Y. (2016). New conception of the reutilization of solid waste from Cuban nickeliferous hydrometallurgical industry. *Centro Azúcar Journal*, 43(4), 1—15.
5. Sivaram, N.M., Debabrata, B. (2019). Toxic waste from leather industries. In *Energy from toxic organic waste for heat and power generation* (pp. 55—67). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00005-5>
6. Pincovski, I., Neacsu, N., Modrojan, C. (2017). The Adsorption of Lead, Copper, Chrome and Nickel Ions from Waste Waters in Agricultural Argillaceous Soils. *Revista de Chimie*, 68(4), 635—638. <https://doi.org/10.37358/RC.17.4.5520>
7. Madebwe, V., Madebwe, C., Munodawafa, A., Mugabe, F. (2017). Analysis of the Spatial and Temporal Variability of Toxic Heavy Metal Concentrations in Ground Water Resources in Upper Sanyati Catchment, Midlands Province, Zimbabwe. *IARD International Journal of Geography and Environmental Management*, 3(1), 23—37.
8. Ishchenko, V. (2018). Environment contamination with heavy metals contained in waste. *Environmental Problems*, 3(1), 21—24.
9. Wrzesińska-Jędrusiak, E., Czarnecki, M., Kazimierski, P., Bandrów, P., Szufa, S. (2023). The Circular Economy in the Management of Waste from Leather Processing. *Energies*, 16(1), 564. <https://doi.org/10.3390/en16010564>
10. Rubezhniak, I.G. (2016). Comparative assessment of soil pollution standards with heavy metals in Ukraine and the EU countries. *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and nature management of Ukraine. Seria: Biologia, biotekhnologia, ekologia*, 234, 228—238 [in Ukrainian].
11. Eastmond, D.A., MacGregor, J.T., Slesinski, R.S. (2008). Trivalent Chromium: Assessing the Genotoxic Risk of an Essential Trace Element and Widely Used Human and Animal Nutritional Supplement. *Critical Reviews in Toxicology*, 38(3), 173—190. <https://doi.org/10.1080/10408440701845401>
12. Schlögl, S., Diendorfer, P., Baldermann, A., Vollprecht, D. (2023). Use of industrial residues for heavy metals immobilization in contaminated site remediation: a brief review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 2313—2326. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04184-x>
13. Yu, J., Jiang, Ch., Guan, Q., Ning, P., Gu, J., Chen, Q., Zhang, J., Miao, R. (2023). Enhanced removal of Cr(VI) from aqueous solution by supported ZnO nanoparticles on biochar derived from waste water hyacinth. *Chemosphere*, 195, 632—640. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.128>
14. Itankar, N., Patil, Y. (2014). Management of Hexavalent Chromium from Industrial Waste Using Low-cost Waste Biomass. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 133(5), 219—224. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.187>
15. Chervona, Y., Arita, A., Costa, M. (2012). Carcinogenic metals and the epigenome: understanding the effect of nickel, arsenic, and chromium. *Metallomics*, 4(7), 619—627. <https://doi.org/10.1039/c2mt20033c>
16. Atanassov, I. (2008). New Bulgarian soil pollution standards. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 14, 68—75. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8257-3_9

Received 19.04.2023

Summary

A.S. Petryshchev¹, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor of the Department, e-mail: kafedrales@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2631-1723>

S.V. Semiriagin², PhD (Engin.), Associate Professor, Deputy CEO, e-mail: td.destal@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8733-3216>

Yu.O. Smirnov³, PhD in Economics, Associate Professor, Senior Research Scientist, e-mail: smirnoff.yuriy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0479-5828>

¹National University “Zaporizhzhia Polytechnic” (Zaporizhzhia, Ukraine)

²LTD Scientific and Manufacturing Enterprise Dneproenergostal (Zaporizhzhia, Ukraine)

³Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Increasing the level of safety and occupational hygiene during the ecologically oriented processing of leather industry waste and the peculiarities of their microstructure

The article is devoted to the study of the peculiarities of the microstructure of cinders from leather industry waste. This is necessary for the use of the obtained material as a chromium-containing raw material for the production of alloying additives by aluminothermic melting. To achieve this goal, a complex of the latest research methods was applied using raster electron microscopy together with X-ray microanalysis to determine the chemical composition of the target areas of the surface of the samples. Thanks to the successfully conducted stages of research, significant results were obtained with the determination that the cinder microstructure was disordered, porous and consisted of separated particles of different shapes and sizes. The oxide nature of the majority of the components is due to the detection of oxygen in the analysis areas in the range of 14.04-25.12 %wt. In the studied areas, the chromium content was at a relatively high level — from 59.49 %wt. up to 74.64 %wt. Of the refractory elements, vanadium was also present in the amount of 0.18-0.29 %wt. The iron content ranged from 0.41 to 0.62 %wt. At the same time, some content of accompanying impurities Ca, Mg, Al, Na, Si, Cl, Mn, K, as well as S and P was found in the cinder — in the amount of 0.55-1.52 %wt. and 0.12-0.21 %wt. in accordance. This made it possible to draw a number of important practical conclusions that the obtained product requires the use of aluminothermic refining smelting for further effective use as an alloying chromium-containing additive. At the same time, cinders from leather production waste can be added instead of part of the chromium-containing ore concentrate when smelting ferrochrome. At the same time, the processing and return to production of technogenic waste from leather production ensures an increase in the level of safety and occupational hygiene, a reduction in environmental stress in industrialized areas, a reduction in environmental pollution and an increase in the safety of life.

Keywords

Leather industry waste, heat treatment, microstructure, alloying additive, ecology, safety.